جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية
Naif Arab University For Security Sciences

امن محطات توليد القوى النووية

الدكتور حسن داود

الرياض

1413 هـ - 1993 م

أمن محطات توليد القوى النووية(*)

الدكتور حسن داود

١ ـ القواعد الفيزيائية للطاقة النووية:

إن كل الأشياء المادية التى تحيط بنا تتكون من ذرات، وهذه الذرات تستسلم لجزئيات لتحويلها الى سوائل، وغازات وكل ذرة تتكون من مركز مصمت (أجوف) ونواة ذرية، واليكترونيات خفيفة أساسية تدور حول النواة وتغلفها، والنواة سلبية والالكترونات سلبية ولذلك فهما يكونان قوى اليكترومغنطيسية تتحد مع الذرة.

وعدد الاليكترونات هو الذي يحدد تركيبه الغلاف الاليكتروني والذي يكون مسئولا من جديد عن الصفات الكيميائية للذرة، والمرء يرتب الذرات تبعاً لعدد اليكترونات غلافها بما يسمى بالعدد المسلسل، وهكذا يحصل المرء على النظام الزمني للعناصر الكيميائية، وهذا يكفي من العنصر البسيط والخفيف والهيدروجين باليكترون واحد فقط، وحتى العنصر الطبيعي الثقيل واليورانيوم ذو الـ ٩٢ اليكتروناً، بالاضافة للعناصر الفنية الثقيلة مثل البلوتونيوم.

والتفاعلات الكيميائية تتحقق من خلال احاطة الذرات لالكترونات الغلاف، ويمكن لكل التفاعلات أن تنساب في اتجاه عكسي وتدخل مع ذلك من تلقاء نفسها تلك التي تكون عندها الطاقة حرة ومثال لذلك.

(*) ألقيت هذه المحاضرة بمقر المركز بتاريخ ١٦ محرم ١٤٠٧هـ الموافق ٣٠ سبتمبر ١٩٨٦م.

$$C + O_2 \longrightarrow Co_2 + 4ev$$

١ مادة فحم نووية + ١ جزيء أكسجين → ١ جزيء فحم مؤكسد + على أن يكون ٤ فولت اليكترونات لطاقة حرارية

$$C_6H_1O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 24ev$$

١ جزيء سكر العنب + ٦ جزيئات ماء → ٦ جزيئات متأكسد فحم (مؤكسد) الى اكسجين + على أن يكون ٢٤ فولت اليكترونات كدرجة حرارة

وقوة الترابط (كيميائياً) الجزئية تكون هنا حرة كطاقة حرارية وهنا يمكن لثاني أوكسيد الكربون والماء أن ينشأ من خلال انغلاق الجزئيات الكبرى، ومن اندماج الجزئيات الصغرى (أو الذرات) وهنا تكون القوى أو الطاقة حرة ومن خلال انقسام كوبلت ٢ وهيدروجين ٢ لا يمكن توليد طاقة ونفس الظروف المشابهة نجدها في طاقة النواة.

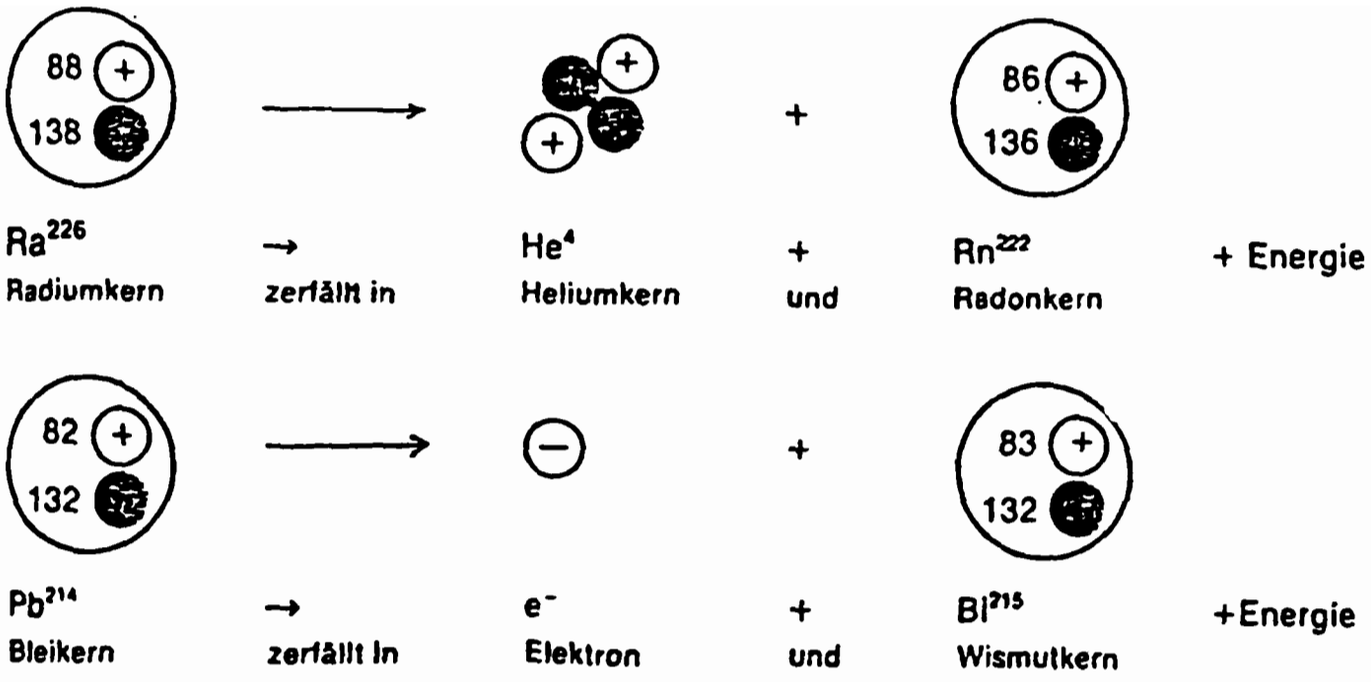
فالنواة الذرية أيضاً تتكون من أحجار بنائية صغرى، من بروتونات «ونيوترونات» والبروتونات لها شحن ايجابي، والنيوترونات نفس وزن البروتونات ولكنها محايدة كهربائياً (يتضح هذا من الاسم) والبروتونات تستهلك نفسها بسبب شحنها المتشابه فهي تتماسك أو تتلاصق من خلال قوى النواة والتي تكون البروتونات والنيوترونات الخاصة بها، وقوى النواة هذه لها مدى قصير فقط، ففي المسافات القصيرة لها قوة توازي ١٠ أضعاف القوى المغناطيسية الكهربائية، وقوى النواة هي التي تلتصق بالنواة والنيوترونات، هنا يجب أن تعمل كرباط، وعلى الأقل تظهر نواة ذرية ثابتة العديد من النيوترونات

والبروتونات (فقط نواة الهيدروجين هي التي تتكون من بروتون واحد).

والذرة المحايدة تحتوي على بروتونات كثيرة (مشحونة ايجابياً بالنواة) وكذلك اليكترونات (مشحونة سلبياً في الغلاف) والعدد التركيبي لعنصر كيميائي لا يعطي فقط عدد اليكترونات الغلاف بل يعطي أيضاً عدد بروتونات النواة وهو لذلك يسمى (عدد الحمولة النووية) ووزن الذرة يتحدد بعدد البروتونات والنيوترونات، فالذرات الخاصة بعنصر محدد لها عدد محدد من البروتونات ولكن ليس لديها عدد واضح محدد من النيوترونات وذرات العنصر الثقيل بها يورانيوم، بالتحديد كل ٩٢ اليكترون و ٩٢ بروتون، ويمكن أن يكون بها ١٤٢، ١٤٣ أو ١٤٦ نيوتروناً، والرقم المسلسل دائماً ثابت هو (٩٢) ووزن الذرة مع ذلك ليس (٢٣٤ - ٢٣٥ أو ٢٣٨) والذرات التي لديها نفس العدد التركيبي ولكن وزنها مختلف يطلق عليه نظائر.

ويوجد ثلاثة أنواع من النظائر يورانيوم ٢٤٣، يورانيوم ٢٣٥، ويورانيوم ٢٣٨، واليورانيوم الطبيعي يتكون من خليط يضم النظائر الثلاثة، ولكن ليست كل الأنواع متشابهة، فاليورانيوم ٢٣٨ هو أثقل الأنواع ولمفاعل نووي يعمل باليورانيوم يمكن للمرء استخدام يورانيوم ٢٣٥.

وقد يصدر من النواة الذرية اشعاعات وجزيئات صغيرة بدون بواعث، وهي تعتبر ذات نشاط اشعاعي، وهنا تتحول الى نواة ذرية بعناصر أخرى.

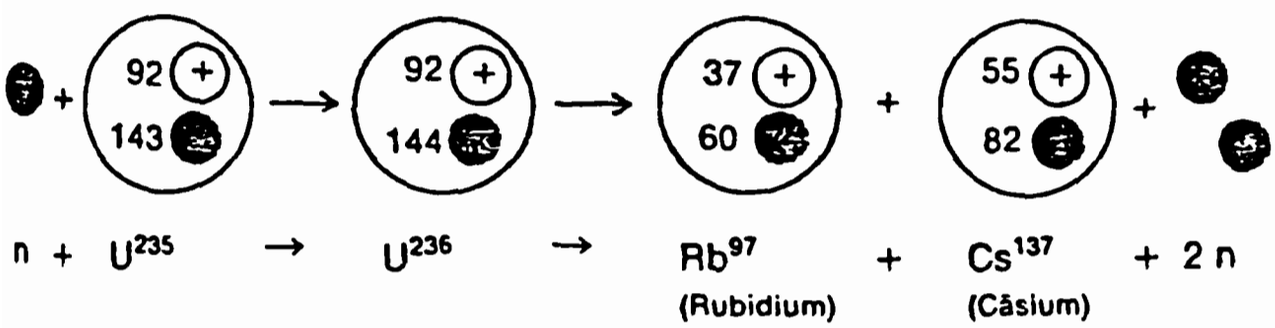


الرســـــم التوضيحي رقم (١)

وأثناء عمليات التفتت تكون القوة حرة والقوى النووية أقوى من القوى الذرية والجزئية، وهي تكون أكبر بكثير من المفاعلات النووية من كونها في مفاعلات كيميائية، وهي تقع في محيط مليون اليكتروفولت ($1MeV \cdot 10^{6}eV$) أي أضخم بمليون من الطاقات الكيميائية :

وكيلو جرام من العنصر النادر جداً «الراديوم» تصدر عنه طاقة من خلال التفتت ـ ذي النشاط الاشعاعي ـ أكثر ملايين المرات من احتراق كليو جرام فحم والكيميائيان «هان» و «شتراسمان» اكتشفا

الرســـــم التوضيحي رقم (٢)



عام ١٩٨٣م أن نواة اليورانيوم يمكن تفتيتها بتلقيحها بنيوترونات بطيئة.

وعند عملية انفلاق النواة تتولد أشعة جاما بطاقة عالية وينشأ عن ذلك اثنان من المنتجات الانشطارية المختلفة الثقيلة، وهما من الذرات ذات العناصر الخفيفة، وفي العادة فإن هذه المنتجات لا تكون مستقرة أو ثابتة وتعاني من التحلل المشع، وفي أثناء هذه العملية تتولد الحرارة، وأهم المنتجات الناتجة عن التفتيت هي غازات خاملة نادرة (عنصر الكربتون، أكسنيون)، هاليدات (يود، بروم) نريركونيوم (عنصر فلزي) ملبرنيم، سيزيـوم، روديديـوم، استرنشيوم، تلوريوم، باريوم، وهناك بشكل اضافي نيوترونان يكونان طلقتين عند التفتت.

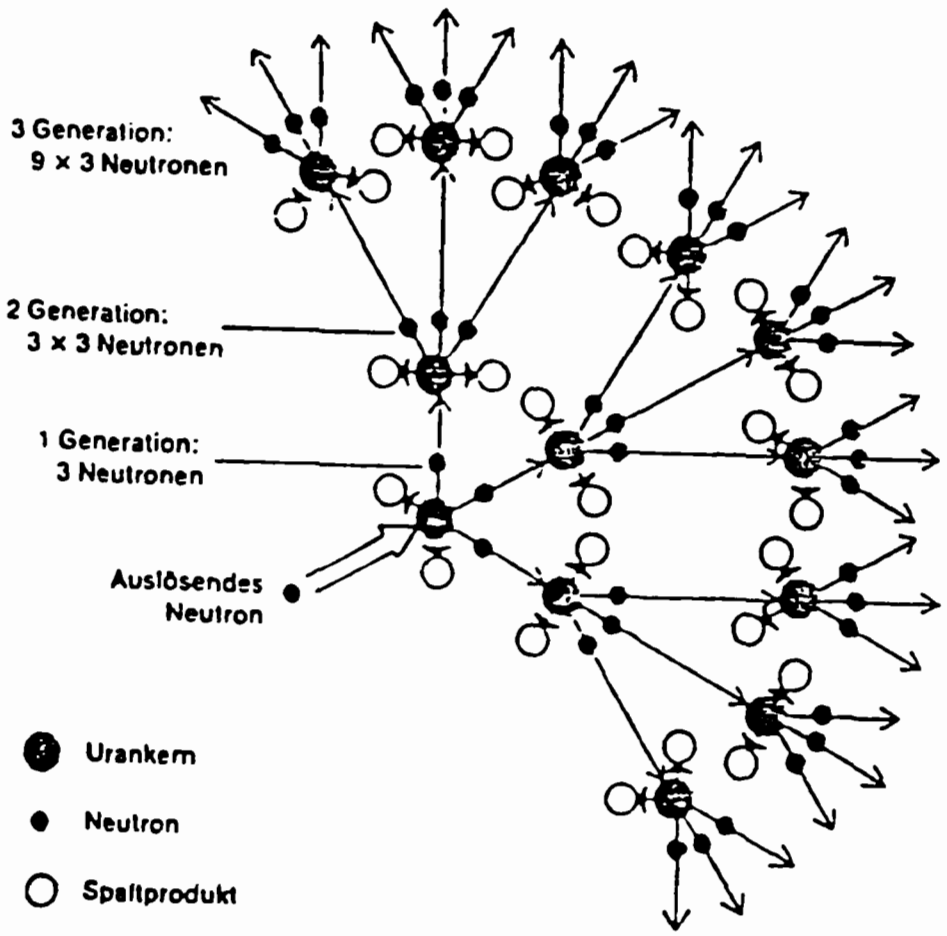
وهذان النيوترونان الحُران يمكن أن يجذبا من نواتين عند الانفلاق وبعد انفلاق كلا النواتين يكون هناك ٤ نيوترونات أخرى استعداداً لانفلاق نواة أخرى وبعد السلسلة العاشرة من الانفلاقات يتكون هناك ١٠٢٤ نيوترون، والمرء يتحدث دائماً عن رد الفعل المسلسل، وعدد النيوترونات وعدد النواة المنفلقة ينهال أو ينهمر حتى تنفلق كل نواة.

«نموذج للتفاعلات الكيميائية المسلسلة».

بالنسبة لسلسة التفاعلات فإنه من الضروري:

- ألاّ يتم استبعاد نيوترونات كثيرة من خلال نواة غريبة.
- وألاّ يتم تسرب العديد من النيوترونات من سطح التجربة.
- أن تكون للنيوترونات الخاصة بعملية الانفلاق طاقة ملائمة ومنخفضة.

الرسم التوضيحي رقم (٣)



ولتحقيق كل هذه الاشتراطات لابد للمرء أن يتخذ بعض الاحتياطات:

ـ لابد أن يتوفر للتجربة أعلى قدر ممكن من المواد القابلة للانشطار فالقدر العالي من اليورانيوم ٢٣٨ في اليورانيوم الطبيعي (أكثر من ٩٩٪) ولابد للمرء من أن يحاول كي يصل الى النظير النادر اليورانيوم ٢٣٥.

وإذا كانت تجربة المواد القابلة للانشطار صغيرة، فإنه يترسب العديد من النيوترونات عبر السطح بدون انشطار، والنتيجة أن سلسلة التفاعلات الكيميائية تخبو وتنطفىء، وإذا كان العكس

وكانت التجربة كبيرة فإن سلسلة التفاعلات الكيميائية تؤدي الى زيادة هائلة في عدد النيوترونات واطلاق الطاقة والنتيجة أن يحدث انفجار.

ولإيقاف النيوترونات السريعة المتولدة من الانشطار يحتاج المرء لمادة فرملة وهي ما تسمى بمهدىء النيوترونات، وعليه أن يوقف النيوترونات بدون أن يبتلعها وأحسن المواد المهدئة للنيوترونات هي الماء، الماء الثقيل، الرصاص.

٢ ـ البنية الأساسية لمحطة توليد القوة النووية:

المفاعل النووي هو مرفق يتم فيه سلسلة تفاعلات كيميائية بكميات محددة من المواد القابلة للانشطار بأسس ثابتة وبشكل معتدل وللسيطرة على سلسلة التفاعلات الكيميائية، فإنه من المهم، وبالتحديد أن تقوم النواة المتوالدة من عملية الانشطار باحداث عملية أخرى، وعند انبعاث عمليات قليلة فإن هذا الوضع يعتبره المرء غير دقيق ولكن إذا تم عكس ذلك فإن المرء يعتبر الوضع دقيقاً جداً.

والمادة المتفجرة النووية على سبيل المثال مصممة بحيث أن تتم فيها عمليات دقيقة جداً إذ يتضاعف فيها عدد النيوترونات في واحد من عشرة من الثانية تقريباً، وهذا يعني أن الوقود في مكان ضيق يكون كثيفاً جداً وكثافة الوقود في المفاعلات النووية مضاعفاتها طفيفة.

والتفاعلات الكيميائية المتسلسلة قابلة للتحكم، وواحد في المائة ١٪ تقريباً من النيوترونات يطلق من بعد ١٥ ثانية من عملية الانشطار، والمفاعلات النووية بالطبع تؤدي عملها بشكل طبيعي

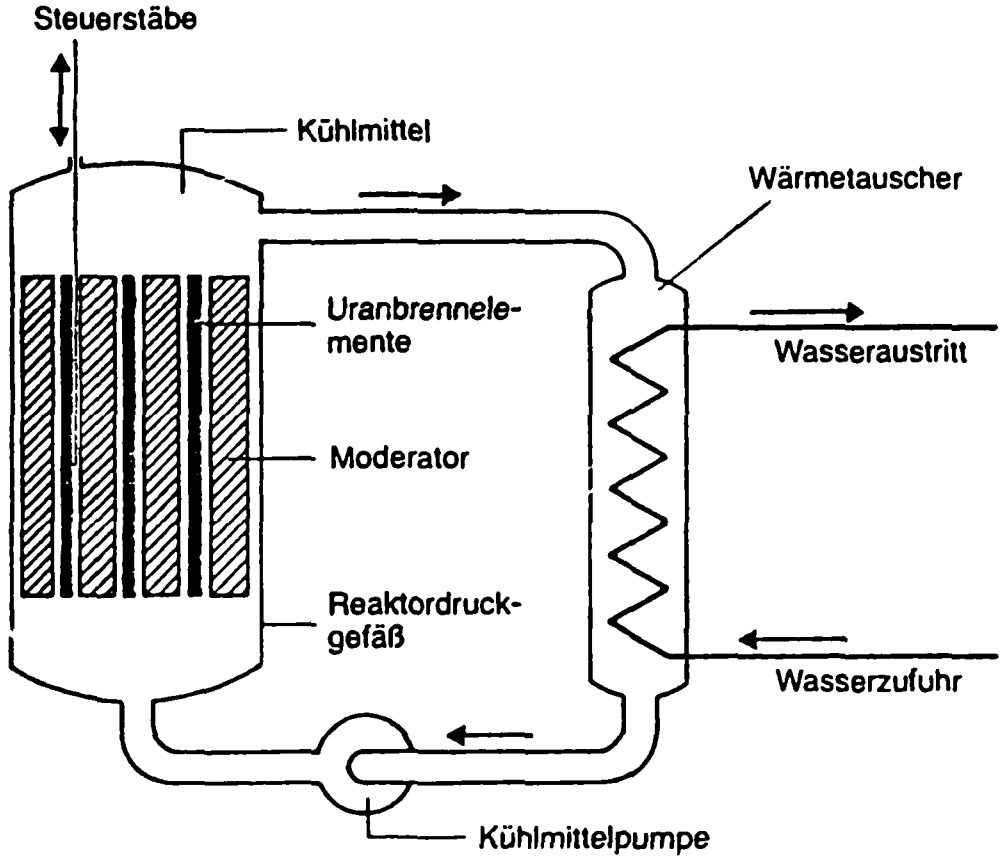
جداً لدرجة أنها لا تتعرض لأي مشكلة صغيرة أو كبيرة الا بعد دخول النيوترونات المترددة.

وبالنسبة للسيطرة على التفاعلات الكيميائية المتسلسلة فهذا يعطي وقتاً في حدود ثوان، ولابد للمرء أن يهتم بميكانيزم التحكم حتى لا تخمد (مفاعل غير دقيق) أو يخرج عن جهاز التحكم (مفاعل دقيق جداً) ومن أجل هذا الغرض يجب تركيب عصا للتحكم والتي تعمل على امتصاص النيوترونات الفائضة.

مكونات مفاعل نووي:

يتكون المفاعل النووي بشكل أساسي من الأجزاء الأساسية التالية:

الرسم التوضيحي رقم (٤)



المفاعـــــلات:

إن الجزء الخاص بالمفاعل والذي يتم فيه الانشطار يسمى مفاعلات، وهو مصنع إما على شكل قضبان احتراق أسطوانية أو عناصر احتراق على شكل كروي، وهناك عدد كبير من قضبان الاحتراق تدمج بعناصر الاحتراق وتركب في المفاعلات أو تستبعد منه، ومن خلال المفاعلات المكونة تبدأ وسيلة التبريد الأساسية (الابتدائية) في توليد الحرارة في عناصر الاحتراق المفردة.

ويجب أن يكون الوقود النووي في مأمن من هجوم ضار عن طريق المبرد، ومن ناحية أخرى يجب الا تصلَ أي نواتج انشطارية الى المبرد، إذ أنه محاصر بغلاف معدني أو فخاري، وهذا الغلاف يصدّ كل المنتجات الانشطارية بالقدر الذي يتسرب من الوقود النووي.

علاوة على ذلك يجب أن يكون في المفاعلات مكان كاف لتركيب جهاز التوجيه الذي أشرنا اليه من قبل وذلك للتحكم في الدقة.

الوقود النووي:

يتكون الوقود النووي من المواد الآتية:

أ ـ يورانيوم طبيعي: يشمل ٠,٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ القابل للانشطار و ٩٩,٣٪ يورانيوم ٢٣٨ غير قابل للانشطار.

ب ـ يورانيوم مركب: والذي يكثر فيه التركيز على يورانيوم ٢٣٥.

جـ ـ يورانيوم ٢٣٣ : (والذي تم انتاجه من قبل خلال تحويل التوريوم ٢٣٢).

توريوم ٢٣٢ + ← نيوترونات ← توريوم ٢٣٣ ← بروتكتينيوم ← ٢٣٣

د ـ بلوتونيوم ٢٣٩ (والذي تم انتاجه من قبل من تحويل اليورانيوم ٢٣٨)

يورانيوم ٢٣٨ + نيوترون ← يورانيوم ٢٣٩ ←نيبوتونيوم ٢٣٩ ← بلوتونيوم ٢٣٩ .

وهي تركيبة محددة لكل المواد المذكورة سلفاً.

مهدىء النيوترونات:

هو عبارة عن مفاعلات تتم فيها أغلب عمليات الانشطار بشكل سريع ونشط وينتج عن تلك الانشطارات المبكرة نيوترونات وتسمى «مفاعلات سريعة».

وبشكل عام فإن النيوترون البطيء له احتمال أكبر لاحداث عملية انشطار ذري عن النيوترون السريع، ولاستغلال ذلك فإن كل محطات توليد القوى النووية التجارية التي تعمل الآن تستعمل وسيط أو (مهدىء نيوترونات) فواجبه هو تخفيض السرعة الناتجة عن انتاج نيوترونات الى حوالي المسبب ١٠٠٠، والنيوترونات لها من الطاقة ما يجعلها تصل الى التوازن الحراري للجو المحيط بها.

أكثر مهدئات النيوترونات استعمالا:

- ماء خفيف (هيدروجين ٢، أوكسجين).
- ماء ثقيل.
- وما يماثل الماء فإن الديوتوريوم (نظير ثقيل للماء) يحل محل الماء المعتاد في الجزيء المائي.
- أو جرافيت (شكل للفحم).

والمفاعلات ذات النيوترونات البطيئة بطاقة منخفضة هي التي تحدث أغلب الانشطارات وتسمى «المفاعلات الحرارية».

المبـــــرد:

كما أشرنا من قبل فإن الوقود يستخلص من الحرارة المتولدة من عمليات الانشطار بوساطة المبرد، ولتبريد المفاعلات الحرارية التي تتأثر فيها النيوترونات بالمهدىء، فإن الماء هو أكثر وسائل التبريد شيوعاً ويمكن أن يستخدم في نفس الوقت كمهدىء، ولكن هناك أيضاً عدد كبير من وسائل التبريد الحديثة مثل الماء الثقيل (والذي يستعمل أيضاً كمهدىء مؤثر للغاية) وكذلك الغازات وثاني أوكسيد الكربون والهيليوم.

والفلزات السائلة يمكن أن تستخدم كوسائل تبريد، ولكن لا يمكن أن تستخدم كمهدئات مع أنه يمكن أن تؤثر أو تغير من توزيع الطاقة للنيوترونات السريعة، ويمكن استعمال الغاز في المفاعلات الحرارية مع مهدئات الجرافيت كوسيلة تبريد، وكذلك أيضاً في المفاعلات السريعة.

أقضاب التحكم:

كما ذكرنا من قبل فإن المرء يصل الى السيطرة على المفاعل من خلال التأثير على مسار النيوترونات داخل نواة المفاعل، وأهم الوسائل لذلك هي جذب أو استبعاد المواد المشبعة بالنيوترونات في نواة المفاعل وذلك لعرقلة النيوترونات الناشئة فوراً عن الانشطار.

العاكس:

العاكس هو تغليف نواة مفاعل، فهنا تستخدم مادة ذات قدرة تشبع قليلة وانعكاس نيوتروني كبير لدفع تأثير النيوترونات في المفاعل، كما أنه من واجبات العاكس أيضاً أن يعيد النيوترونات لنواة المفاعل ولولا ذلك لتسربت، وفي المفاعلات الحرارية تظهر مواد مهدئة جيدة، وكذلك عاكسات جيدة وفي المفاعلات السريعة تستخدم عادة مواد مثل اليورانيوم الطبيعي كعاكس أما في العمليات المركبة فيستخدم اليورانيوم كعاكس.

خزان المفاعل:

الجزء النووي من المفاعل يوجد في وعاء المفاعل، وفي حالة وقوع وسيلة التبريد تحت ضغط فالمرء يصف الوعاء بخزان ضغط المفاعل.

منشآت فرعية ومساعدة:

بالنسبة للمفاعل هناك عدد كبير من المنشآت الفرعية والمساعدة التي تخدم أمن المنشأة.

وأهم هذه المنشآت:

- سواتر للأشعة.
- جهاز لحالات الابطال الاضطراري لنواة المفاعل.
- جهاز لتبريد المفاعل.
- جهاز لتبريد نواة المفاعل.
- جهاز (منشآت) اعداد الماء والغاز المستهلك لاستبعاده عن المواد المشعة.
- منشآت تحكم وقياس وتنظيم للمفاعل وكذلك مرافق مساعدة.
- منشآت لتخزين عناصر الاحتراق الجديدة والمحترقة بالفعل، ولجلب أو استبعاد عناصر الاحتراق من نواة المفاعل.
- منشآت لتدعيم وسيلة التبريد الأساسية.
- ترتيبات للتنظيف المستمر للجزء الخاص بالتيار الأساسي الأوسط.

٣ ـ أشكال محطات القوى النووية:

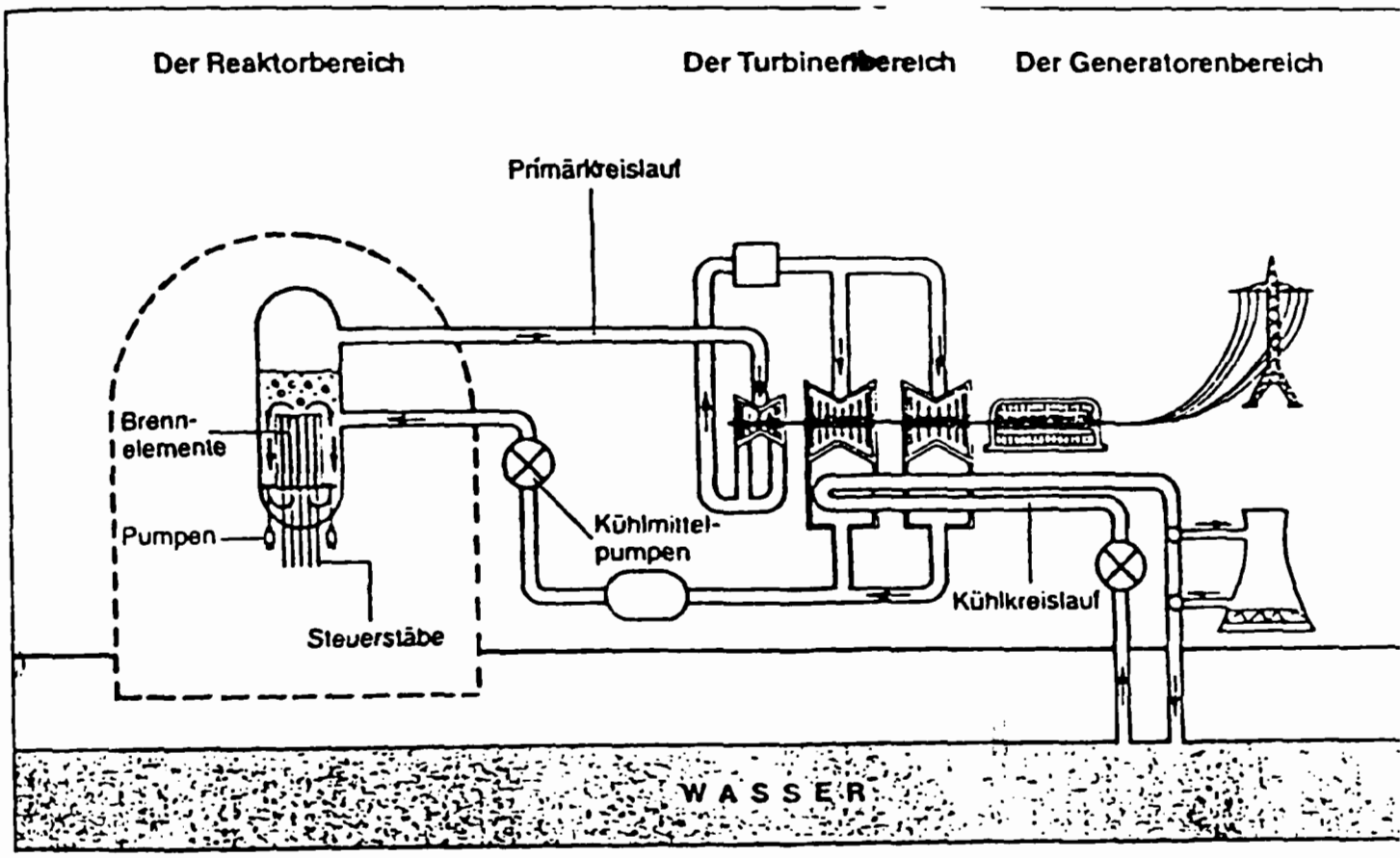
بعد أن يتم شرح البناء الأساسي لمحطة توليد القوى النووية يجب فيما يلي وصف أنواع المفاعلات المختبرة وبنيتها:

١ ـ مفاعلات المياه المخففة:

مفاعلات المياه الخفيفة يتم تبريدها بمياه عادية ولكن على درجة كبيرة من النقاء، وهذا الماء يؤثر في نفس الوقت كمهدىء بعد ولفرملة النيوترونات، والمرء يفرق في هذا النوع بين مفاعلات ماء الغليان ومفاعلات الماء المضغوط (SWR).

الرسم التوضيحي رقم (٥)

Siedewasserreaktoren (SWR)



الوقود لمفاعلات ماء الغليان يتكون من صوان موضوعة بعضها فوق بعض على شكل قطع اسطوانية من اليورانيوم (تقريباً ٣٪ يورانيوم ٢٣٥) والتي تكون محاطة بغلاف فلزي على هيئة أنابيب وبهذه الطريقة تتكون عصي الاحتراق وكل عصا احتراق لها قطر دائرة من ٩ ـ ١٣ ملليمتر وطولها حوالي ٤ ميلليمتر ونواة المفاعل تشمل تنظيم عشرات الآلاف من هذه العصي.

أما الحرارة التي تتولد نتيجة الانقسام داخل العصى تمرر عبر أغلفة العصى الى الماء الذي يبدأ في الغليان ويولدخليطاً من البخار

والماء من نواة المفاعل وبعد حدوث عملية انفصال البخار يتجه البخار إلى التوربين من خلال طريق مباشر والتوربين يحرك المولد الذي يولد من ناحيته كهرباء والبخار الفائض من التوربين يتدفق عبر مكثف ويفتح ثانية إلى مدخل المفاعل.

ومفاعلات ماء الغليان لديها أيضاً دورة مباشرة فهناك مادة التبريد والتي تتدفق من خلال المفاعل وتنساب عبر التوربين وعادة في مفاعلات المياه المغلية فإنه يتم العمل بـ ٧٠ بار تقريباً ومع هذا الضغط يتولد بخار درجة حرارته ٢٨٠ مئوية تقريباً.

مفاعلات الماء المضغوط (DWR):

على العكس من مفاعل ماء الغليان فلا توجد في مفاعل الماء المضغوط دورة مباشرة، فالماء المبرد يتدفق عبر نواة المفاعل (والتي يكون وضعها مشابه لوضعها في مفاعل الماء المغلي) ويتم تسخينه الى درجة ٣٠٠ مئوية . . وحيث أن العمل في مفاعل الماء المضغوط يتم بضغط قدره ١٥٠ درجة فأن غليان الماء مستبعد، ثم يترك ماء التبريد الأساسي وعاء المفاعل ويتم تشغيله بوساطة مولدين أو أكثر للبخار حتى يعاد ضخه مرة أخرى لمدخل المفاعل.

وفي مولدات البخار يدور ماء التبريد عبر أنابيب تكون جوانبها الخارجية على اتصال بدورة ماء ثانية بضغط أقل (حوالي ٧٠ بار) وخلال هذه الأنابيب بطولها تتحول الحرارة الناتجة من وسيلة التبريد الأساسية الى تيار مائي ثانوي، لدرجة أن الماء في دورة الماء الثانوية

يبدأ في الغليان وتزويد التوربين ببخار درجة حرارته ٢٦٠ درجة مئوية أما البخار الفائض من التوربين فإنه ينسال عبر المكثف ثم يضخ مرة أخرى لمولدات البخار.

٢ ـ مفاعلات الحرارة العالية (HTR):

إن بنية مفاعل الحرارة العالية تختلف بشكل جوهري عن بنية مفاعلات المياه الخفيفة، ففي هذا النوع من المفاعلات يستخدم الجرافيت كمخفف لفرملة النيوترونات، وتنقسم مادة الانشطار في الجرافيت الى جزيئات رقيقة ومغلفة جيداً، وكوسيلة تبريد يستخدم الغاز الخامل الهيليوم ويسمح الاستمرار الحراري العالي للجرافيت حتى درجة ٣٠٠٠ درجة مئوية بتسخين وسيلة التبريد الكيميائية الخاملة وهي الهيليوم حتى درجة حرارة ٩٥٠ مئوية، وهذا التشابك الفني الهام لدرجات الحرارة العالية جداً والخاصة بوسائل التبريد هي السبب في التسمية «مفاعل الحرارة العالية» وفي المقابل فإن درجة الحرارة القصوى للوقود في المفاعل تقريباً ١٢٠٠ درجة مئوية تعتبر أقل من مفاعل المياه الخفيفة.

وتترك وسيلة التبريد المفاعل في درجة حرارة تصل لحوالي ٧٥٠ درجة مئوية و (٤٠ بار) وتدور عبر أنابيب مولدات البخار ثم تعود مرة أخرى للمفاعل، والماء في مولدات البخار يتحول الى بخار درجة حرارته ٥٥٠ درجة مئوية و ١٨٠ بار ويتدفق من خلال التوربين والمكثف ويعود كسائل لمولدات البخار، ودرجة حرارة البخار المرتفعة نسبياً تساعد بفعالية في تحويل حرارة الانشطار النووية الى كهرباء.

٣ ـ المفاعلات السريعة:

في المفاعلات السريعة تظل السرعة المتوسطة للنيوترونات من خلال الشكل البنائي وتجنب المواد المهدئة عالية وتكمن فائدة المفاعلات السريعة أن نتائج النيوترونات فيها تكون عالية، ونتيجة النيوترونات تلعب دوراً كبيراً في التفاعلات النووية عندما يتمكن المرء أن ينتج من خلال النيوترونات الفائضة من الجزء غير القابل للانشطار من اليورانيوم ومن الثوريوم، وبوساطة التشبع بالنيوترونات مادة قابلة للانشطار جديدة كالبلوتونيوم.

وهذه العمليات تجري في كل نوع من أنواع المفاعلات ولكن في المفاعلات السريعة يأمل المرء أن ينتج مواد قابلة للانشطار أو بشكل أوفر عندما تقوم هذه المفاعلات باستهلاك مادة الانشطار بنفسها وذلك لكي تعمل . . ويسمي المرء هذه المفاعلات المفرخات السريعة.

للوصول الى نتيجة عالية وخاصة للنيوترونات، فإن نواة المفاعل للمفرخات يتم بنائها بشكل متماسك، ولذلك تنتج لكل متر مكعب طاقة حرارية عالية جداً تعادل ٦ فاخين Fachen من مفاعل المياه الخفيفة و ١٠٠ فاخين Fachen من مفاعل درجة الحرارة المرتفعة، وكوسيلة تبريد لنواة المفاعل يتم استخدام الناتريوم السائل في المفرخات السريعة بسبب قدرته على نقل الحرارة جيداً، كما أن الناتريوم لديه تأثير طفيف جداً على تهدئة النيوترونات السريعة، وحيث أن الناتريوم إذا ما تفاعل مع الماء أو الهواء كيميائياً بقوة فإن

السيطرة على حالات الخلل هذه تحتاج الى اجراءات بنائية خاصة.

وفي المفرخات السريعة ومن خلال نواة المفاعل تتولد كمية كبيرة من الصوديوم والتي تولد بدورها الحرارة التي يتم تخزينها في جهاز خاص بذلك والذي يقوم بنفس الدورة مرة أخرى، وبخار الماء الناتج عن هذه الدورة الثانية تبلغ درجة حرارته ٥٠٠ درجة مئوية وضغطه (١٨٠ بار)، بوساطة درجة الحرارة هذه وهذا الضغط يتم تشغيل أحد التوربينات ويتم داخله تحويل هذا البخار الى ماء بوساطة تكثيفه والذي يبدأ من خلال دورة الصوديوم الثانية في التحول الى بخار ساخن تبلغ درجة حرارته ٥٠٠ درجة مئوية تقريباً.

٤ ـ أمن محطة توليد قوى نووية:

١ ـ نظرة عامة:

إن المشاكل الرئيسة عند انشطار النواة وعند اختلاط المواد المشعة والاشعاعات النووية تكمن في التحكم في النشاط الاشعاعي الذي يصيب الانسان بجرعات صغيرة والذي يمكن أن يسبب أضراراً بدنية ووراثية، والأثر البيولوجي للاشعاعات النووية معروف منذ ما يقرب من ١٠٠ عام وبحث من ذلك الحين بالتفصيل.

وبالنسبة للأضرار الناتجة عن الأشعة فإن المرء يصف الأضرار هنا أنها هي التي تصيب الأشخاص الذين حصلوا على (أكثر من ٥٠ ريم) ومن الأعراض الشديدة التي تظهر قبل أي شيء أضرار بالتكوين الدموي واضطرابات معدية ومعوية، وجرعات الأشعة التي تزيد عن ٣٠٠ ريم تقود ٢٠٪ من المصابين بها للموت والمصابين

بجرعات أعلى من الأشعة تزيد نسبة المتوفين بينهم، وكأضرار بدنية تظهر متأخرة' هناك كالسرطان وابيضاض الدم (لوكيميا).

أما الأضرار الوراثية فهي تصيب الأشخاص المعرضين للأشعة بدرجة عالية في الأجيال التالية على أنه ليس من المعروف كم تستمر هذه العواقب الوراثية، وهذه الأضرار تسبب تغير في الكروموزات والذي يؤدي لخلل جسمي ووظيفي في الأجيال التالية، ومن خلال النشاط الاشعاعي للهواء والماء والأرض، وكذلك الاشعاع الكوني، فإن الانسانية منذ القدم تتعرض لحمل اشعاعي طبيعي ودائم، وكل انسان يحصل سنوياً على جرعة أشعة تعادل تقريباً ١٢٠ ـ ١٥٠ ميللريم.

وبناء على الأبحاث البيولوجية الاشعاعية تم تحديد الحد الأقصى المسموح به من الجرعات الاشعاعية للأشخاص المعرضين لها وظيفياً، والحد الأقصى المسموح به من الجرعات الاشعاعية للسكان الطبيعيين حوالي ١٧٠ ميللريم في العام، والحمل الاشعاعي من خلال محطات توليد القوى النووية يعتبر أقل من ١٪ من الحمل الاشعاعي الطبيعي . . ولقد أوضحت نتائج أبحاث أعوام طويلة أن الحمل الاشعاعي المتوسط لكافة الناس وهو ١٧٠ ميلليريم في السنة لا يؤدي لزيادة واضحة في انتشار السرطان، وهذا أيضاً يسري بالنسبة لانتشار مرض ابيضاض الدم (لوكيميا).

كما وضح لنا من قبل فإن انتاج الحرارة أثناء عمل المفاعل النووي يعتمد على العملية الفيزيقية لانقسام النواة وتنشأ منتجات

انشطارية وتنشيطية، والشيء ذو الأهمية الخاصة هنا هو مقدار المواد المشعة.

والجزء النشط من اليود ١٣١ فإنه يمكن أن يتسرب من مادة الاحتراق النووي لأنه سائل طيار، وإذا ما حدث هذا التسرب فإنه يمكن لليود الذي له مدة نصف عمر، تقدر بثمانية أيام أن يلوث المنطقة المحيطة بالمفاعل لمدة شهر متواصل.

وطبقاً لقواعد تشغيل محطة توليد القوى النووية، يمكن استخدام قرابة ١ كوري باليود ١٣١ فقط في السنة، وهذا أيضاً أقل من الجزء من المائة المليون من محتوى هذا النظير، وعند تسرب قرابة ١٠٠ Ci يود ١٣١ (هذا فقط ١ على مليون من محتويات عناصر الاحتراق لمفاعل ١٠٠٠ ميجاوات كبير) يجب أن تتخذ احتياطات للطوارىء في المنطقة المجاورة، وتسرب ١٠٤ ـ ١٠٥ كوري من اليود يمكن أن يؤدي وفي ظل ظروف جوية غير طيبة الى آثار تهدد حياة الأشخاص الموجودين بالمنطقة المحيطة بالمفاعل.

ويجب أن تحدد نوعية الاحتياطات الوقائية الأمنية الفنية من خلال حجم الخطورة النظرية، والتي يمكن أن تنتج من تسرب جزء من المحتوى المشع، ولذلك فإنه في محطة توليد القوى النووية تكون هناك متطلبات كثيرة بهذا الخصوص لدعم فعالية واستمرار السيطرة على هذه المنشآت الهامة، وهذه الاجراءات الهامة للتشغيل العادي، ويجب اتباعها بكل دقة لأن اهمالها يمكن أن يؤدي لأخطار جسيمة على البيئة.

٢ ـ فلسفة الأمن:

عند الاستخدام السلمي للطاقة النووية يكون مقدار الخطورة الناتجة عن تشغيل محطة القوى النووية في المنشآت والاجراءات أقل، فحيث أن الخطورة في محطة توليد القوى النووية تتمثل في تسرب المنتجات الانشطارية والنشطة الناتجة عن إنشطار الذرة، فإن الهدف الأمني الأساسي لمحطة توليد قوى نووية ينقسم الى حصار المنتجات النشطة في مقدار معين تحت السيطرة وفي نفس الوقت الاهتمام بالنقل المستمر للحرارة المتولدة.

والمنتجات الانشطارية تنتج من خلال التفتت الاشعاعي حرارة كثيرة جداً (حرارة ما بعد التفتت) لدرجة أن محطة القوى النووية تحتاج وبشكل هام للتبريد المستمر بعد ابطالها.

وفي حالة تعطل وسيلة التبريد وانهيار التبريد الخاص بنواة المفاعل فإن حرارة ما بعد التفتت سوف تكفي لاذابة نواة المفاعل، وفي مثل هذه الظروف سوف يتسرب الجزء الأكبر من المحتوى والذي يمثل المواد المشعة في الهواء.

وللتقليل من احتمال وقوع مثل هذا الحدث للحد من تسرب المواد المشعة في المنطقة المجاورة، كان لابدَّ من بذل جهود كثيرة عند تصميم وتخطيط وبناء وتشغيل محطة قوى نووية، وكل هذه الجهود تعتمد على اتباع تصميم من الحواجز الأمنية المضاعفة والمنفصلة والتي تمثل غالباً استراتيجية أمنية تسمى «الدفاع في العمق» ويفهم من هذا أن المرء لابد أن يأخذ بعين الاعتبار عند بناء وتشغيل محطة توليد قوى نووية النقاط الثلاث الآتية:

أ ـ الضمان الكيفي:

فمن خلال التأثيث البنائي والتأمين الكيفي، وكذلك التفتيش المستمر والاختبارات التي تجرى على المكونات يمكن منع حالات الخلل واصلاحه فوراً.

ب ـ منع حالات الخلل:

بالنسبة لحالات الخلل التي تطرأ فجأة تكون هناك الأجهزة الأمنية التي يمكنها أن تتعرف على الخلل بشكل مبكر.

جـ ـ الحد من عواقب حالات الخلل:

بالنسبة للحالة النظرية الخالصة وفي نفس حدوث حالة الخلل فإن اجراءات التأمين الخاصة بالنقطة الأولى والثانية تتعطل، فتوجد مرافق أمنية اضافية والتي تحد من مقدار الضرر.

كل اجراءات التأمين لها أهداف وقائية:

أ ـ حماية المنطقة المحيطة:

لحماية المنطقة المجاورة من تأثيرات أي حالة خلل بمحطة توليد القوى النووية، يجب ضمان أن تكون جميع المرافق الحيوية المؤمنة فنياً مصممة، بحيث تبقى على هذا الوضع حتى يكون الحمل الاشعاعي الناتج من الاشعاع المباشر وتسرب المواد المشعة من محطة توليد القوى النووية بأقل قدر ممكن، والمخاطرة الناتجة من الحمل الاشعاعي بالنسبة للسكان لا يمكن بهذا الشكل أن تؤدي الى زيادة معدل الخطورة بصفة عامة.

ب ـ حماية العمل:

كل المرافق في محطة توليد القوى النووية التي تحتوي على مواد مشعة أو يمكن أن تحتوي عليها يجب أن ترتب وتحجب بحيث أن الحمل الاشعاعي للأشخاص الذين يصيبهم أثناء التشغيل لا يجب أن يتجاوز الحد المسموح به.

جـ ـ حماية المرافق:

جميع المرافق والمنشآت الأمنية الهامة واللازمة لتأمين المفاعل النووي يجب أن تصمم وتشيّد بحيث تؤدي هذه المهمة والتي تشمل تصريف الحرارة الزائدة ومنع تسرب المواد المشعة، وذلك حتى في حالة حدوث بعض الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات، الزلازل العواصف الشديدة التحوّل والتيارات المتدفقة، وكذلك المؤثرات الخارجية مثل سقوط طائرة .. وما الى ذلك.

٣ ـ المواصفات والمرافق الأمنية الفنية:

أ ـ المواصفات الأمنية الملازمة:

إن تسرب قدر كبير من المواد المشعة المنتجة من عناصر الاحتراق يمكن أن يكون نتيجة ارتفاع زائد في درجة الحرارة بعناصر الاحتراق، وهذه الارتفاعات في درجات الحرارة تحدث عندما ينشأ عدم تناسب بين الطاقة المتولدة من عنصر الاحتراق وبين الحرارة المتولدة من عنصر الاحتراق عبر وسيلة التبريد.

ومن هذا المنطلق فهناك مبدأ هام لكل نوع من المفاعلات:

ليس من المسموح اختلال توازن الحرارة في عناصر الاحتراق تحت ظروف، حيث أن هذا يؤدي الى زيادة عالية في درجات الحرارة، وجدير بالذكر في هذا الصدد أن مصدر الحرارة لا يمكن ابطاله بشكل كامل، وحتى بعد توقف التفاعلات المسلسلة فإنه تتولد كمية حرارة هائلة من خلال تفتت المواد المشعة، وانتاج الحرارة هذا يصل الى ٧٪ من القدرة الحرارية للمفاعل حتى لحظة التوقف وتنخفض هذه النسبة بعد عشر دقائق الى ٢٪ والى ١٪ بعد ساعتين ثم تصل الى نسبة الحرارة المتولدة من تفتت المواد المنتجة دائماً الى ٠,٥٪، وبالنسبة للمفاعل الضخم بقدرة حرارية تقدر بحوالي ٣٥٠٠ ميجاوات (حوالي ١٣٠٠ MWE) يعني انتاج حراري يقدر بحوالي ١٧ MW ميجاوات والذي يعتبر أكثر من كاف نواة المفاعل والغلاف.

ب ـ تنظيم المفاعل:

برغم الأمن المتوفر بوساطة العملية التنظيمية الذاتية فإن تنظيم المفاعل يتعرض لبعض العقبات الناتجة عن ظروف التشغيل، فإذا ما ترك المرء الأمر تماماً فستحدث تأرجحات كبيرة في درجات الحرارة في وسيلة التبريد.

وتنظيم المفاعل يسهل التحكم في درجة الحرارة في نواة المفاعل ورفعها أو انقاصها طبقاً لما هو مطلوب في نواة المفاعل والتي يساعد التنظيم على تحقيق التوازن بها بوساطة أقضاب التحكم، ولابدَّ أن

يكون هناك تناسب بين نواة المفاعل وأقضاب التحكم بحيث يمكن إما تأمين أو تثبيت التقلبات التي تحدث في كفاءة المفاعل والتي يمكن أن تؤدي لتخطي القيمة النهائية المحددة، ولذلك فإن من المهم الحد من معدل السرعة لاقضاب التحكم، حتى لا يحدث خلل غير مأمون في الأداء عند عملية الاخراج.

جـ ـ تصميم الحواجز:

لحماية المنطقة المحيطة من تسرب المواد المشعة من الوقود يجب أن يكون هناك ما يسمى بـ «المنشآت الأمنية الايجابية» وهي كالتالي:

- وقود أو مادة خلالية ـ ماتريكس.
- نظام تبريد للمفاعل.
- احاطات أمنية.

والقصد من تصميم الحواجز يقوم على أساس أنه في حالة انهيار أحد الحواجز يكون هناك حاجز آخر ضد تسرب المواد المشعة.

وقود ماتريكس:

الحاجز الأول وقود ماتريكس والذي يتكون من أوكسيد اليورانيوم له قدرة تدعيم جيدة للمنتجات الانشطارية وهذه المنتجات الانشطارية الصلبة وما ينتج عنها يتم احتجاز ١٠٠٪ تقريباً من منتجاتها الصلبة و ٩٠٪ من المنتجات السهلة التبخر داخل الماتريكس والباقي يتجمع في انبوبة الوقود.

- الوقود - الغلاف:

توضع أقراص الوقود في أنبوبة مصنوعة من مادة الزيركولي أو المعدن، هذا بالنسبة لمفاعلات الماء، وفي المقابل فإن أجزاء الوقود الصغيرة في مفاعلات درجات الحرارة المرتفعة تغلف بطبقات خزفية والغلاف الخزفي مثل المعدني يمنع تسرب المنتجات الانشطارية وغلاف الوقود يجب أن يصمم بحيث يتمكن في المقاومة عند التشغيل وفي حالات الخلل ويصنع غلاف الوقود هذا بعناية فائقة.

ولهذا السبب فإنه يمكن أن يصل جزء من المنتجات الانشطارية لنظام التبريد ومن خلال التجارب المستمرة يمكن من نظام تبريد المفاعل معرفة ما إذا كان غلاف الوقود غير محكم.

- نظام تبريد المفاعل:

تتم السيطرة على المواد المشعة المتسربة من جهاز التبريد الخاص بالمفاعل وذلك بوساطة الجدران المكونة لجهاز التبريد.

وكل أجزاء نظام تبريد المفاعل يجب أن ترتب بحيث تستطيع المقاومة عند التشغيل وفي حالات الخلل.

الاحاطات الأمنية:

تشيّد هذه الاحاطات الأمنية وذلك كآخر حاجز أمام المواد المشعة والتي يمكن أن تتسرب من بعض الثقوب أو في حالات الخلل، ويجب أن تصمم هذه الاحاطات بحيث إذا ما حدث كسر في توصيلة

نظام التبريد الرئيسة يمكن السيطرة على كمية البخار والغاز بأكملها والتي ستكون حرة حينئذ، والاحاطات الأمنية هذه تتكون في حقيقة الأمر من الوعاء الأمني الكروي الشكل.

د ـ اجراءات للوقاية من الاشعاع:

الساتر:

يعتبر الحجب (أو الستر) بالاستعانة بمواد مناسبة من الاجراءات النسبية للوقاية من النشاط الاشعاعي، وفي محطات توليد القوى النووية تتكون السواتر من الخرسانة الصلب أو الماء، الذي له تأثير حاجب، وبالسواتر المختلفة، ومنها درع المفاعل والغلاف الخرساني والجدار الأمني وبهذا يمكن حماية المنطقة المجاورة من النشاط الاشعاعي في حالة الخلل.

التهوية في منطقة التحكم:

بالنسبة لمنطقة التحكم والتي توضع كلها لأنظمة النشاط الاشعاعي فيتبعها أيضاً مبنى المفاعل والمبنى الاضافي للمفاعل، ويتم تنفيذ منطقة التحكم بحيث تمنع تلوث الهواء بالمواد المشعة بوساطة فلتر (مكون من ايروسول وفلاتر يود) وبالتالي يتم منع وصول النشاط الى الأماكن الخالية من المواد المشعة.

هـ ـ التأمين الكيفي:

الشرط الأساسي لتحقيق مستوى أمني رفيع ولضمان الوقاية

من الأخطار التي تنتج من الطاقة النووية هو الوصول لمستوى كيفي عال ومن الاجراءات المؤدية لذلك «التأمين الكيفي» والذي يبدأ عن تصميم وتشييد أحد المباني ويمتد حتى نهايته ثم التشغيل أيضاً وتحت كلمة «تأمين كيفي» تندرج كثير من الاجراءات التنظيمية والفنية التي تعتبر هامة لضمان نوعية محطة توليد القوى النووية فيما يتعلق بالأمن والحركة.

ولتحقيق التأمين الكيفي لابد من:

- عمل تخصصات ولوائح تصنيع تفصيلية.
- فحص مستندات التصميم والحسابات والتشييد.
- فحص مستندات انتهاء التصنيع المقدمة من المصنعين.
- اختيار وتأهيل المصنعين.
- الملاحظة المستمرة للتصنيع والتركيب في شكل فحوصات واستلامات.
- توثيق نتائج الفحوصات.

ولابد أن تكون اجزاء المرافق متوافرة ومرتبة بحيث يمكن فحصها وصيانتها بشكل دوري منتظم وطبقاً لأهميتها الفنية الأمنية قبل وبعد التشغيل، أما المستندات التي تقيم النوعية فيما يختص بالتصميم والتشييد والبناء الاختبارات والتشغيل والصيانة والاصلاحات فيجب أن تكون تحت التصرف طول عمر المرفق.

و - المواصفات الأمنية البنائية:

لا يمكن استكمال تحقيق أمن محطات توليد القوى النووية

بواسطة الخواص الأمنية الملازمة فقط، فنظام ترتيب المفاعل والذي يساعد مرفق المفاعل في اطار حد الطاقة من التشغيل والادارة والابطال بشكل عادي لا يستطيع أن يوفى كل المتطلبات الأمنية في كل حالات الخلل.

ومن هنا يجب أن يزود نظام الحرارة الرئيس والأجهزة التنظيمية العادية للمرفق ببعض المنشآت الاضافية والتي تتكون مما يسمى «بنظام حماية المفاعل» وذلك لوقاية المرفق من الآثار الناتجة عن حالات الخلل الشديدة والتوظيفات الخاطئة تبعاً للمستوى الثاني لفسلفة الأمن، كما أنه توجد أنظمة حماية خاصة أخرى اضافية في محطة توليد القوى النووية، وعلى سبيل المثال: توربين البخار والمولدات والأنظمة المساعدة الكثيرة، وكل هذه المنشآت الأمنية الفنية تشكل مع نظام حماية المفاعل النظام الأمني، وهذا النظام الأمني مهمته حماية المحطة من الأشغال غير المأمونة والحفاظ على العاملين بالتشغيل والمرفق والمنطقة المحيطة به داخل الحدود المعروفة سلفاً وذلك في حالات الخلل وآثاره عليهم.

ومن الجدير بالملاحظة أن الاستقلالية الكاملة لجهاز الحماية مقابل جهاز التنظيم ذو أهمية جوهرية، بحيث أن أي تصرف خاطىء أو انهيار في جهاز التنظيم تحت ظروف معينة يمكن أن يؤدي الى حالة خلل والتي يتخذ حيالها اجراءات مضادة من خلال جهاز الحماية.

وجهاز حماية المفاعل ينقسم الى جزءين:

- جزء يتم فيه حفظ وتخزين بيانات المرفق ويتكون هذا الجزء من

آليات المفاعل والتعشيقات الخاصة بجهاز القياس والمنشآت الأمنية.

- والجزء الثاني يتكون من المنشآت الأمنية والتى من أهمها:

جهاز ايقاف المفاعل: ومهمته تخصيص قدرة المفاعل في الأوقات الحرجة وعند الطلب، وكذلك ايقاف المفاعل في حالات الخلل وبشكل سريع وقبل أن يتم تجاوز القيم الحدية المحددة لجهاز أمن المفاعل.

الجهاز النووي الاضطراري لتبريد المفاعل: مهمة التبريد النووي هي أن يكون كافياً مضموناً لتبريد نواة المفاعل في حالة ايقاف المفاعل أو حدوث عطل في وسيلة التبريد، وتوفير جهاز كفء هام جداً، بحيث إذا ما حدث انخفاض في درجة الحرارة أثناء اخراج الحرارة من المفاعل أو بسبب خطأ فردي يمكن السيطرة على القيم الحدية المحددة الخاصة بعناصر الاحتراق وأغلفة وسيلة التبريد ولا يتم تجاوزها.

نظام حماية المبنى:

بسبب ضخامة المحتوى الاشعاعي في كل محطات توليد القوى النووية فيتم حصر كل مكونات المحطة في وعاء أمني لا يتسرب منه الغاز ولا يتأثر بالضغط الخارجي، وأثناء التشغيل العادي يكون من النادر تسرب المواد المشعة حتى أن جهاز التهوية الخاص بالوعاء الأمني يتم تشغيله بدون تأثيرات على المنطقة المحيطة، وبمجرد أن تتعدى نسبة النشاط الاشعاعي الحد المسموح به في الهواء العادم وتحت ظروف غير طبيعية فيجب اغلاق مداخل ومخارج جهاز التهوية وهذا الأمر ضروري خصوصاً عند تعطل وسيلة التبريد.

- امداد اضطراري بالتيار:

بالاضافة لامدادات الطاقة من الشبكة والمولد الرئيسين فيجب توفير منشآت أمنية فنية من خلال مرافق امداد اضطرارية بالتيار التي تتولى تزويد أقسام المرفق بالطاقة الكهربائية في حال حدوث عطب في الشبكة والمولد الرئيسين، وبالنسبة للامداد الاضطراري بالتيار فيجب أن يتكون من مولدات متوافرة ومنفصلة بعضها عن بعض وأن تكون هناك أجهزة توزيع متوفرة حتى إذا ما حدث أثناء أحد الفحوصات أو الاصلاحات انقطاع للتيار نتيجة خطأ فردي يكون هناك امداد كاف بالتيار في نفس الوقت.

وتوافر الامداد الاضطراري بالتيار وأجهزة التوزيع يماثل توفير الأجهزة الفنية الآلية، وفي حالة وجود مؤثر خارجي فإنه لا يمكن توقف كل منشآت الامداد الاضطراري بالتيار في وقت واحد.

مبادىء تركيبية:

إن الضمان المطلوب الرفيع المستوى لأجهزة الأمن يتوقف على تطبيق المبادىء الآتية:

١ - مبدأ أمن الأعطال:

وهذا المبدأ يتطلب السيطرة على عواقب التشغيلات الخاصة والأعطال في اطار النظام العام وفي الاتجاه المأمون وهذا المقياس يستخدم عادة لتصنيف المركبات الكهربائية وعلى سبيل المثال مفتاح

أو وحدة تشغيل الصمامات وأقضاب التحكم وما شابه ذلك، وعلى سبيل المثال أنه عندما يحدث خلل في الامداد بالطاقة ويتم تأمينه فيمكن أن يطلق على الجزء المعني بالعطل «ضد الأعطال».

٢ ـ خطأ فردي ـ المقياس:

خطأ فردي يعني خطأ ينتج بسبب حادث فردي بما في ذلك الأخطاء التالية الناشئة عند ذلك، والخطأ الفردي يؤدي لحدوث خلل في التركيبات والأضرار الخاصة بجهاز.

ومقياس الخطأ الفردي يتطلب أن تكون المنشآت الأمنية ووظائفها جميعاً مستكملة وذلك للسيطرة على حالة خلل معينة في حالة الضرورة ولمواجهة أي خطأ فردي آخر يحدث أثناء حالة الخلل، ولذلك يقود مقياس الخطأ الفردي الى التصميم الموسع للمرافق والأجهزة الهامة.

٣ ـ التوسع:

ويفهم من ذلك أن يجب على المرء أن يوفر من المنشآت أكثر مما يحتاجه، وهذا يحدث عند البدء في تصميم المحطة وعلى سبيل المثال إذا كان المرء يحتاج لأنظمة تعمل بطاقة ١٠٠٪ فعليه أن يوفر الأجهزة التي تعطي له ٢٠٠٪ وهذا لأنه من الممكن أن يحدث خطأ فردي يعطل التشغيل والمرء لا يضع الخطأ الفردي فقط في الحسبان ولكنه يصنع أيضاً الحالات التي تستوجب الاصلاح، ولذلك فيجب توفير أجهزة واعداد أنظمة تعمل بطاقة ٣٠٠٪ ولابد أن يراعى ذلك عند التصميم والانشاء.

٤ ـ الخطأ الشائع:

الخطأ الشائع هو خطأ نظامي ويقع بشكل متكرر في المركبات المستخدمة في آلة واحدة، وحدوث هذا الخطأ عند استخدام أجهزة متشابهة أو مكونات يؤدي لابطال مفعول أجزاء المرفق المعدة، والأحداث والأخطاء الجوهرية الممكنة التالية يمكن أن تؤدي لعطل في الجهاز الأمني.

ـ أخطاء مركبة عند العمل: أخطاء عند التحليل الأمني، عند تصميم الأجهزة والمركبات، عند انجاز البناء وما يتبع ذلك من سوء فهم.

ـ من الممكن وقوع بعض الأخطاء من العاملين أثناء التشغيل أو الصيانة أو الفحص.

ـ وجود أعطال في الأجهزة الاحتياطية في نفس الوقت.

٥ ـ التنوع:

التنوع واحد من أهم مبادىء التصميم لتأمين المرفق من الخطأ الشائع، والتنوع يعني أن المهام المفروضة أثناء تصميم وتشييد وتشغيل محطة توليد قوى نووية تتم من خلال تأثيثات ومكونات وأجهزة واشارات مختلفة والتي تقوم على مبادىء مختلفة أيضاً.

ولذلك فيجب على سبيل المثال فحص المرافق المختلفة، تفاصيل التصميمات، التحليل الأمني، التصنيع والتشييد والتشغيل، وذلك لتجنب الأخطاء المذكورة.

٦ ـ الانفصال الفيزيائي:

يعتبر الانفصال الفيزيائي للأجهزة الفرعية من أهم مبادىء

التصميم وذلك لحماية المرفق من الخطأ الشائع، وبهذا التخطيط يمكن الفصل بين آثار الحوادث وبين الأخطاء المترتبة على كل خطأ فردي في الأجهزة الفرعية وعند التطبيق يجد المرء طريقتين للانفصال الفيزيائي:

- من خلال أبعاد الأجهزة (انفصال مكاني).
- من خلال الوقاية الميكانيكية.